新世代オーディオ――どんな音を再生したいか (4)

未知の物理要因—特性を探る
ナノセコンドの波面を聴きわける聴覚

響(ひびき) 學(まなぶ)

◀これまでの復習▶

我々は，感動を喚起する音を再生するオーディオの研究開発をスタートしました．

研究開発は，人がどのように音を知覚するかについてのモデルが作られ，それを基に進められます．初歩的に作られた聴覚モデルは，蝸牛に多くの帯域フィルターがあり，その整流出力を聴いているというものだそうです．なんと，波面とか位相を人は感じないというものです．この初歩モデルは電話などの開発には大いに役立ったのですが，このモデルは最初からオーディオの目指すような音質を満たす聴覚モデルではなかった．同時に，それは開発すべきオーディオ機器の特性についてのモデルも示しませんでした．

しかしオーディオの開発初期は，人々が熱意を持っていたこともあり，モデルが不備であっても，「聴く－修正する」を繰り返して作り上げていたので，なんとか感動を喚起する音は再生されていたと考えられます．

同時期に，1930年代頃には，ベケシーの，インパルス入力に対する，波面，位相も考慮した聴覚モデルも提案されましたが，電話の目的にはオーバースペックで，波面位相は，あまり考慮されずに，連続波を中心とした初歩的な聴覚モデルに基づく理論（私に言わせれば幼稚な理論）が，今もまかり通っています．

このモデルが主流であるかぎり，このモデルに基づいた，再生装置：アンプ，スピーカ等の再生モデルが出来上がってきて，工学者はそのモデルを満足させることだけに忠実に努力した結果，再生される音は，感動を喚起する音の再生とは無関係な装置が出来上がるようになってきてしまったものと思います．周波数特性（強度のみの）平坦，高調波歪率，S/N…….

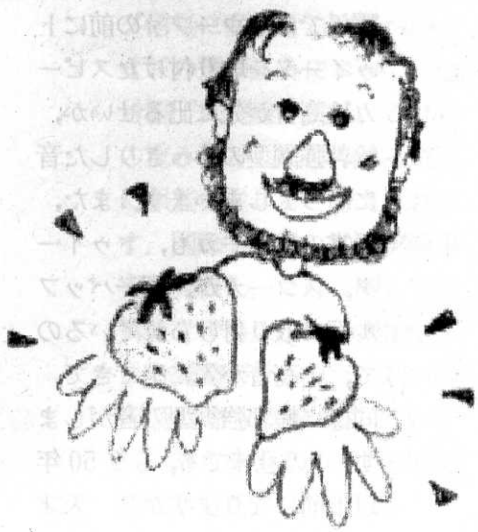
この意味では，従来モデルに基づいたオーディオは完成してしまっているといえます．そのため，かなり苦労して，今のモデルに基づいた特性の改善を行っても，それ以上の進歩が直接的に現れないのも当然です．

現行の聴覚モデルの不備はどこ?

これまでの理論のどこが決定的に不備であるかの考察は次のとおりです．

1. 旧聴覚モデル，フーリエ変換共に，別名では”調波解析”に基づいており，歪は周波数領域での，基音（正弦波）と，その高調波しか対象にしていません．ところが，感動を喚起させる信号音，例えば演奏者が弓で弦を一瞬叩くように，また，抑え付け方を変えたり，捻るように引いたり……の音は，多くのインパルシブな音や調波でない少しずれた周波数の音などを含みます．「含みます」というよりは，これらが，名演奏の主要かつ，重要な情報と考えています．
2. それらのインパルシブな信号の特徴は，周波数領域で解析しようとすると，全周波数領域にばら撒かれてしまうので，解析不可能に近い（連載3回目に説明）．
3. 聴覚の時間的に鋭い感覚は実測されている事でもあり，信号解析は，周波数領域だけでなく，“時間”，音なら“波面”を詳細に解析するべきである．

以上より，感動を喚起する音の再



●おいしい成果をめざして

生を求めるならば，“時間”に注目した新たな聴覚モデルと，それに基づく音再生のモデルを設定することが不可欠と考えて，新しいオーディオをスタートしました．

★これまでのまとめ

まず

1. 聴く（観察する）（連載1回目に説明）．そして多くの観察される事象（連載2回目に説明）から，
2. 人は波面に鋭い聴覚能力がある（仮説立てた）（連載3回目）．ナノセコンドに及ぶ波形伝送の重要性を示した．特に注目は，従来常識では信じられないほどの「時間再生精度が必要!?　の仮説モデル」を設定した（連載3回目）．

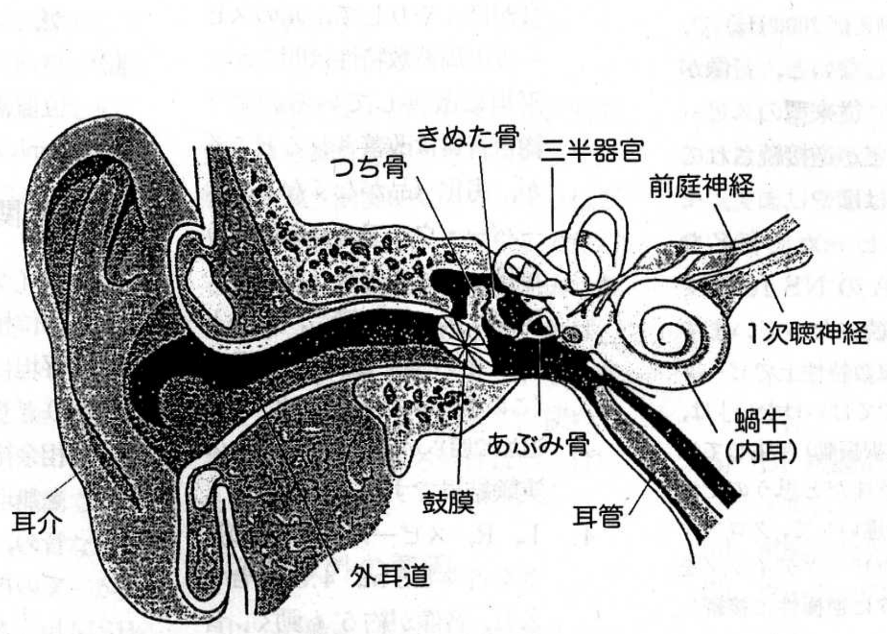
また，

3. オーディオ再生は，平面波モデルに違いないことを発見（連載2回目）した．

波面を鋭く感じる能力等について観察確認した事実

今回は，これまでに，“波面に鋭い聴覚能力がある”の仮説を，更に定量的に突っ込んで，ナノセコンドにおよぶ波形伝送が必要の事実と，波面精度に関する実験を整理して示します．おそらくは，これまでに音質に大きく影響するが，従来理論では説明できない事実を，ほとんど網羅して説明していると思います．なお，ここに記す事は実験で確かめていますが，その本質的な意味での実証まではされていない事を明確にしておきます．

読者の方で，良い音のために気になる研究成果であるが説明できない事実があったら，ご指摘いただくとありがたいです．究極のオーディオを求めているので，ここで設定する



●耳の解剖図

モデルは全てを説明できる完全なものにしたいからです．

波面（音の始まりから1秒あまりを含む）精度の重要さについて

◎スピーカ関連

1. 2ウェイ，3ウェイ・スピーカのウーファ，スコーカ，トゥイータの相対前後位置は，“クラップハンド再生音”，“拍子木音”を再生，聴いて，最も耳の痛い位置にあわせると，数分の1mmの精度を必要とする．トゥイータは，1/100mm=10nsの違いでの音質変化を確認しています．ただし，弦楽器であわせると位置が違うことはユニットの遅れ時間特性の違いがあるからでしょう．この調整の結果の再生音は，例えばトランペットの演奏の時に生では空気の塊が飛んでくるが，これに近づきます．
2. 我々の実験（観察）では，ウーファとトゥイータを−12dB/octのデバイデング・フィルタで繋ぐ時，クロスオーバ周波数（例えば2000Hz）で，同相で接続しないと，音像がぼやけます．従来型のスピーカはほとんどが逆接続されており，音像はぼやけます．モニター・スピーカで有名なYAMAHAのNS1000でさえ逆相接続になっています（従来，「周波数特性上でピークディップがでてはいけない」は，寄生振動（選択振動）が生じてはいけないの意味だと思うのですが，それを勘違いして，クロスオーバ周波数でピークデイップを生じないように逆極性に接続したようです）．また，前後位置関係では，ウーファの前にトゥイータを取り付けたスピーカは高音が先に出るせいか，輪郭強調型のくっきりした音になってしまいます．また，通常のスピーカも，トゥイータ，スコーカが，同一バッフル面に取り付けられているので，中高音が先に出てきて，同様に輪郭強調型の音がします．この意味でも，もう50年以上前になりますか？　天才Olson博士の作った，original RCA LC-1A（コニカルドームなし）の音像は，我々の理論，実際から評価しても素晴らしいです（スピーカ・ユニットの逆相接続等で生じる歪のシミュレーションは次回以降で示します）．
3. スーパー・ウーファは，「低音は方向感がないので，適当に部屋に置けばよい」と取扱説明書に書いてありますが，我々の実験では，元のスピーカとの前後位置調整は1cmの精度が必要でした．《最も，購入したままの性能では，低音がぼんやりして，元のスピーカの周波数特性は明らかに平坦に改善しているのに？　総合音質は改善されるどころか，劣化（品がなくなる．スーパー・ウーファはないほうが良い）してしまったので，電源，ボックス構造，ポート及びその他を改造した場合（この場合はスーパー・ウーファ追加で明らかに音質は向上）の実験結果です》
4. L，R，スピーカ・コードの長さを各々1.5m，4.5mとすると，音像が約5°も動く．音像も，ぼやける．（長さの差：3mのコードの遅れ時間差は15ナノセコンドにすぎない！）また，コードの向きが合わない時の音像の不明確さは実験で確認しています．何度確かめても再現性のある事実ですが，今，聴覚生理の研究が進んでいないので，説明は出来ません．ともかく人は時間遅れについて，ナノセコンドを聞き分ける能力があると言う事実は以上のとおりです．
5. スーパー・トゥイータは，波面の重要さについて，上記に関連してまだ気付かない重要な問題を提起してくれていると思います．

(1) スーパー・トゥィータに耳をつけても何も聞こえないのに，これがあると音像が明確になる．

(2) 通常のCD再生でも，再生装置に100kHzまでのスーパー・トゥィータを追加すると，音像が明確になる．うーむ，だけど，再生帯域外の音が効いているんだ！　と考えるのは早計のような気がしますが．

(3) ウーファ，スコーカとの相対位置調整は非常にシビア（1mmの1/100）．

◎信号関連

1. メイン・アンプ回路のNFBの位相調整で，周波数特性を平坦に高域（約1MHz）までぎりぎりで延ばした装置と，位相余裕をとって，周波数特性を無理に延ばさないアンプの音の，凄み，深刻さ等についての再現される音の違いは著しく大きい！　あきらかに前



●ウーム，そろそろ目を見開らいたら……

(8) 柱状トランスが変わると音が変わる（仮説2関連）．

以上については事実を確かめて，実際に確認，対応していることを記して今回の終了とします．なお，上記のすべての実験は「凄み」，「緊張感」を再現できる装置でなければ明確にはわからないと明記しておきます．

それにしても，今年の New year concert の BS 中継は，ひどい音でしたね？　私の経験ではデジタル・ノイズの非常に多い音の印象でした．波面がめちゃくちゃなのでしょうか？　ホール：フェラインザールの響きをともなった空気感が全く再現されず，音楽の楽しさもない．がっかりして，途中でスイッチを切りました．

むすび

聴覚モデルとして，多くの慎重な観察から，ナノセコンドの波面を聴き分けられる能力があるらしいと考えています．それはどういう機構なのか，知りたいですね―！　蝸牛内の基底膜上の繊毛の動きは草原の草のようになびきますが，そこには波面が見えます．それを感じないはずはないと思うのですが．想像は膨らみます．なお，鼓膜以外の，身体，皮膚で感じる雰囲気，空気感もとても重要に考えています．それを正しく伝送するためには，忠実な波面伝送です．波面は，時間と空間の世界です．周波数の世界ではありません．

（つづく）

●前号(1)式において，編集部の出力に不具合がありましたので訂正して再掲いたします（編）

$$f(t)=a_0+a_1\cos(2\pi f_0)t+a_2\cos 2(2\pi f_0)t+\cdots+a_n\cos n(2\pi f_0)t+\cdots$$
$$+b_1\sin(2\pi f_0)t+b_2\sin 2(2\pi f_0)t+\cdots+b_n\sin n(2\pi f_0)t+\cdots \quad \text{——(1)}$$
$$(t_0<t<t_0+1/f_0)$$

便宜上，$1/f_0=T$ とすれば上式は

$$f(t)=a_0+\sum_{n=1}^{\infty}\{a_n\cos n(2\pi f_0)t+b_n\sin n(2\pi f_0)t\} \qquad (t_0<t<t_0+T) \quad \text{——(2)}$$

この式は区間 (t_0, t_0+T) での $f(t)$ の三角フーリエ級数表示です．

各定数 a_n, b_n は次のように求められます．

$$a_n=\frac{\int_{t_0}^{(t_0+T)} f(t)\cos n(2\pi f_0)t\,dt}{\int_{t_0}^{(t_0+T)}\cos^2 n(2\pi f_0)t\,dt} \quad \text{——(3)}$$

$$b_n=\frac{\int_{t_0}^{(t_0+T)} f(t)\sin n(2\pi f_0)t\,dt}{\int_{t_0}^{(t_0+T)}\sin^2 n(2\pi f_0)t\,dt} \quad \text{——(4)}$$